

Meerlagenteelt in de praktijk

Energie-efficiënter broeien

J. Wildschut (WUR/PPO), J.C. Campen (WUR/Glastuinbouw)

© 2010 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Dit project is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door de partijen in de Meerjarenafpraak energie Bloembollen (KAVB, PT, min.EL&I, Agentschap NL en telers).



Projectnummer: 32 360 844 09

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Adres : Prof. Van Slogterenweg 2
: Postbus 85, 2160 AB Lisse

Tel. : 0252 - 462121

Fax : 0252 - 462100

E-mail : info.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING	6
2 WERKWIJZE.....	9
3 RESULTATEN	10
3.1 Luchtvochtigheid en temperatuur	10
3.2 (LED)Licht	13
3.3 Energie-Efficiëntie	14
4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	17
5 COMMUNICATIE.....	18
BIJLAGE 1: MECHANISCHE VOCHTAFVOER MET BUITENLUCHT.....	19
BIJLAGE 2: POSTERS OPEN DAG	28

Samenvatting

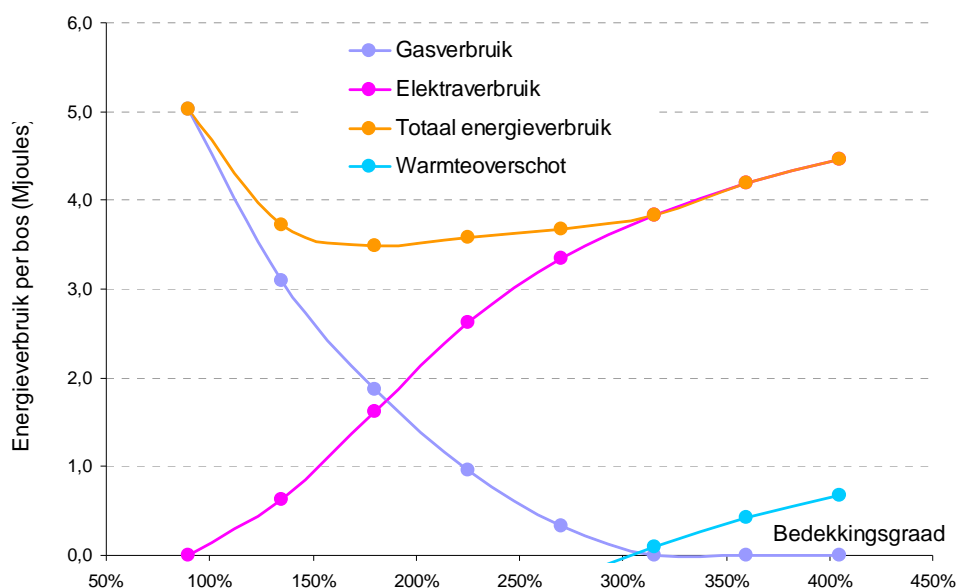
1 Inleiding

Naast mogelijke voordelen als een betere kasbenutting, waardoor een lagere kostprijs, en productieuitbreiding zonder kasuitbreiding, biedt het broeien in meerdere lagen (in de kas en/of in de cel) grote mogelijkheden om het energieverbruik in de broeierij terug te dringen. Immers, met een verdubbeling, of verdrievoudiging (of meer) van de productie per oppervlakte-eenheid wordt het gasverbruik per bos tulpen evenredig teruggebracht.

Afhankelijk van de ruimte tussen de containers in bovenliggende lagen (en zo van de lichtdoorlatendheid van de bovenlagen), en van de weersomstandigheden buiten, zullen de onderliggende lagen echter meer of minder belicht moeten worden.

Uit eerder onderzoek in de 80-er jaren is vastgesteld dat in een klimaatcel dagelijks 20 tot 24 uur belichten met 30 - 25 $\mu\text{mol/s/m}^2$, voor alle tulpencultivars voldoende is om tulpen van goede kwaliteit te broeien. Dit komt overeen met 1 TL-lamp van 36 watt per m^2 .

Op basis hiervan is berekend wat van december t/m april de lichtbehoefte is in een modern waterbroeisysteem op mobiele containers, waarbij de onderste laag een kasbedekking van 90% heeft en bijvoorbeeld in de bovengelige teeltlagen tussen de containers zoveel ruimte overlaten wordt dat de kasbedekking per laag 45% is. Gecombineerd met het gemiddelde gasverbruik per broeiseizoen kan dan het totale energieverbruik per bos tulpen worden uitgerekend, figuur 1.

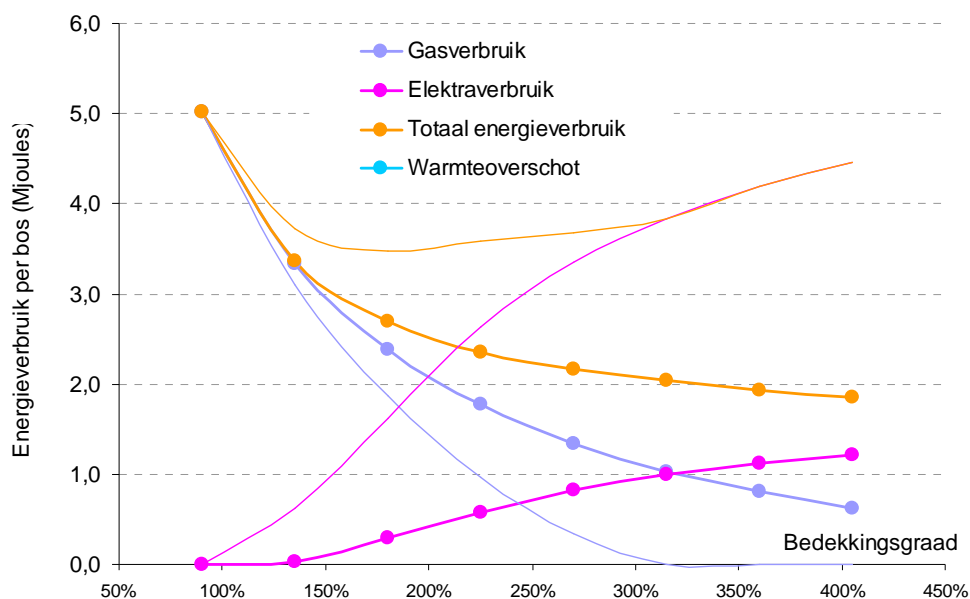


Figuur 1: Energieverbruik in meerlagenteelt bij een bedekkingsgraad van 45% van de bovenliggende lagen.

De figuur laat zien dat naarmate er meer teeltlagen bijkomen het elektraverbruik per bos tulpen voor verlichting toeneemt. Het gasverbruik per bos tulpen neemt echter *extra* sterk af, omdat de elektrische energie voor verlichting in warmte wordt omgezet. Het netto energieverbruik is in dit rekenvoorbeeld het laagst bij een totale kasbedekking van 180% (één onderste gesloten laag en twee lagen erboven met elk een bedekkingsgraad van 45%). Neemt het aantal lagen verder toe dan stijgt het energieverbruik per bos weer licht en boven een bedekkingsgraad van 315% ontstaat gemiddeld over het broeiseizoen een warmteoverschot.

Het elektraverbruik voor verlichting is dus een cruciale factor voor de energie-efficiëntie van meerlagenteelt. Is de lichtbehoefte van tulp gedurende de broeiduur (afhankelijk van cultivar en aflopend van in december 4

tot 2 weken in april) minder dan elke dag 20 – 24 uur continue 30 - 25 $\mu\text{mol/s/m}^2$, en/of is de lichtefficiëntie van de lamp hoger (méér dan de 25 $\mu\text{mol/s/m}^2$ die één 36 watt TL-lamp/ m^2 op 50 cm boven de tulpen hoogte levert), dan neemt het energieverbruik per bos sterk af, figuur 2. In deze figuur is het energieverbruik weergegeven bij een 33% lagere lichtbehoefte (dagelijks gemiddeld 20 ipv. 30 $\mu\text{mol/s/m}^2$ gedurende 20 uur per dag) en 55% efficiëntere lampen (16 watt LED-lamp ipv. een 36 watt TL-lamp). Ter vergelijking is het energieverbruik zoals in figuur 1 door de dunnere lijnen weergegeven. Het energieverbruik per bos neemt nu bij een toenemend aantal lagen steeds af en een warmte overschot treedt niet op.



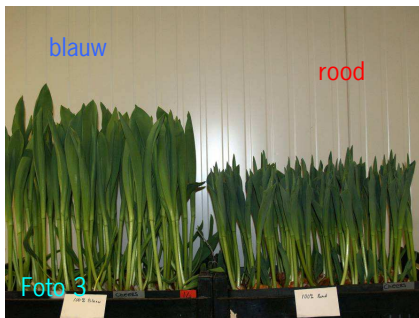
Figuur 2: Energieverbruik in MLT bij een bedekkingsgraad van 45% van de bovenliggende lagen, een 33% lagere lichtbehoefte en 55% efficiëntere lampen.

Naar aanleiding van het bovenstaande is de laatste jaren door PPO onderzoek naar de lichtbehoefte van tulp gedaan. Ook werd geëxperimenteerd met LED-lampen in verschillende combinaties rood en blauw licht. Behalve dat LED-lampen een hoger rendement (meer $\mu\text{mol/Joule}$ elektra) kunnen leveren, kunnen deze lampen door de afwezigheid van warmtestraling dicht op het gewas geplaatst worden zodat ook de teeltlagen in een MLT-systeem dicht op elkaar kunnen en bestaande kassen dus nog efficiënter gebruikt zouden kunnen worden. Enkele conclusies uit dit onderzoek waren:

- De eerste 30% van de normale 2 tot 4 weken groei in de kas hebben tulpen geen licht nodig.
- Langer in het donker leidt tot kromme stelen, maar niet tot kortere of lichtere tulpen, foto 1.
- Door 1 minuut/half uur met 1 TL-lamp/ m^2 te belichten worden tulpen pas later krom, foto 2.



- Onder continue blauw LED-licht worden de tulpen langer dan onder rood, foto 3.



- Onder rood LED-licht spreidt de spruit veel eerder, vergelijk foto 4 met 5.
- Hierin is geen verschil bij 30, 15 of 10 $\mu\text{mol/s/m}^2$.

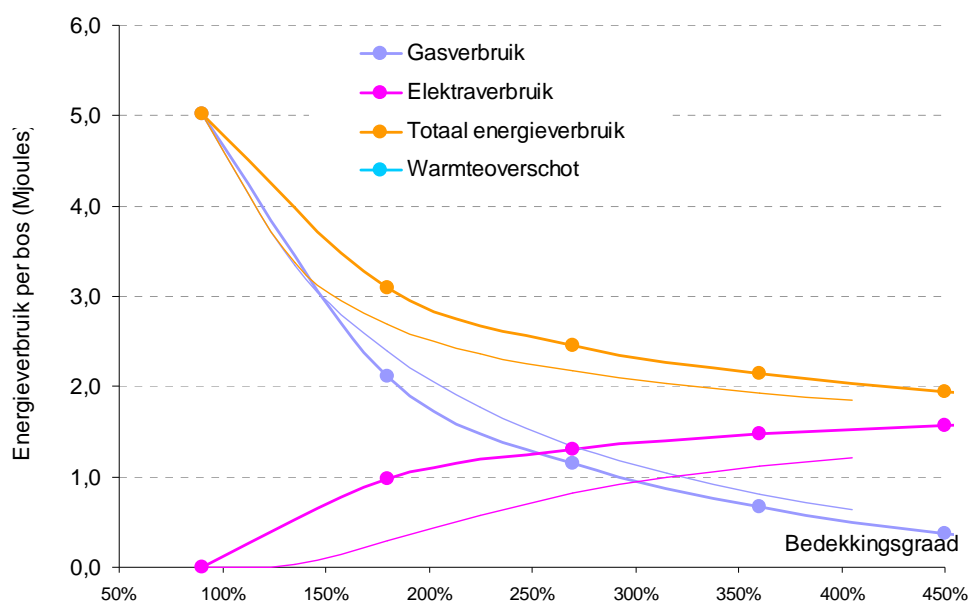


Deze resultaten geven aan dat de lagere lichtbehoefte en de hogere lichtefficiëntie waarmee in figuur 2 gerekend is binnen de mogelijkheden ligt.

Broeiers en installateurs geven de voorkeur aan gesloten bovenlagen, of aan open ruimtes tussen de zg. kopse kanten van de containers ipv. tussen de lange zijden. Achtergrond hierbij is dat de stellingen en liften hierdoor efficiënter benut worden waardoor een lagere kostprijs per bos gerealiseerd wordt. Deze variant doorerekend geeft figuur 3. Hierin is te zien dat het elektraverbruik voor belichting weliswaar fors hoger is dan in figuur 2 (de dunne lijnen in figuur 3), maar het netto energieverbruik per bos neemt bij een toename van het aantal lagen (de punten op de lijnen) toch voldoende af.

Ondanks de mogelijke voordelen wordt MLT in de praktijk nog weinig toegepast. Achtergronden hierbij zijn de hoge investeringen en onzekerheden over het kasklimaat. Met name de ruimtelijke verdeling van RV en temperatuur zijn hierbij delicaat. Een lokaal te hoge RV (> 70 – 80 %) gecombineerd met een hoge groeisnelheid geeft bij sommige cultivars een verhoogde kans op fysiologische ziekten (zg. zweters, en blad- en stengelkiep). Een onregelmatige temperatuursverdeling in de kas geeft onregelmatigheden in afrijping en zo mogelijke problemen met productie- en afzet planning en interne logistiek.

Doelstelling van het project 'Meerlagenteelt in de praktijk' is het versneld ontwikkelen en implementeren van eb/vloed MLT-systemen waardoor in de bolbloemensector op middellange termijn het energieverbruik voor de broeierij drastisch afneemt, de arbeidsomstandigheden verbeteren en er geen/minder emissie van nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen plaatsvindt. Gecombineerd met Duurzame energiemaatregelen wordt het broeien op lange termijn energieneutraal.



Figuur 3: Energieverbruik in MLT bij een bedekkingsgraad van 90% van de bovenliggende lagen, een 33% lagere lichtbehoefte en 55% efficiëntere lampen.

2 Werkwijze

De werkwijze in dit project is vergelijkbaar met die van het project State-of-the-Art bewaren van tulpenbollen: enerzijds het demonstreren van reeds ontwikkelde en beproefde MLT-systemen op praktijkbedrijven en van de hierbij gerealiseerde energiebesparingen. Anderzijds het op deze praktijkbedrijven testen/verifiëren van de recente resultaten van onderzoek naar verbeteringen van belichting, kasklimaat, e.d.. Op deze wijze wordt de praktijk direct gevoed met de nieuwste ontwikkelingen uit het onderzoek en wordt het onderzoek direct gevoed met de resultaten en ervaringen op de praktijkbedrijven. De op deze wijze ontwikkelde verbeteringen aan het MLT-systeem kunnen de erop volgende broeiseizoenen weer aan de sector gedemonstreerd worden.

Voor het broeiseizoen november 2009 t/m mei 2010 zijn 4 broeibedrijven gevonden die aan de opstart van dit project mee wilden werken: M.T. Burger Bloembollen, Wagemaker Flowers B.V., Zwet Tulips en Gebr. Smak. Dit laatste bedrijf broeit in de kas niet in meerdere lagen maar verlengt de bewortelingsfase in een meerlaags containersysteem. De andere bedrijven hebben één of meerdere jaren ervaring met MLT in de kas.

Met de op de bedrijven toegepaste lichtregimes werden kwalitatief goede tulpen afgebroeid. Er is daarom gestart met het in kaart brengen van het kasklimaat. Hiertoe zijn met draadloze sensoren op verschillende hoogtes t.o.v. de teeltlagen de temperatuur en relatieve luchtvochtigheid (RV) gedurende 3-6 weken gelogd: Net boven en/of tussen de tulpen op de 1^{ste} laag, onder de 2^{de} laag, tussen de tulpen op de 2^{de} laag, net onder het energie scherm, etc., en op één bedrijf ook onder de 1^{ste} laag.

Deze data zijn geanalyseerd en op het bedrijf besproken en waar nodig zijn verbeteringen voorgesteld en uitgewerkt.

Op één bedrijf zijn in de vroege fase van de groei belichtingsproeven met rode en blauwe LED-lampen uitgevoerd om na te gaan of vroege spreiding van de spruit (rood licht), of extra lange spruiten (blauw licht) tot voordeel bij de oogst leidt.

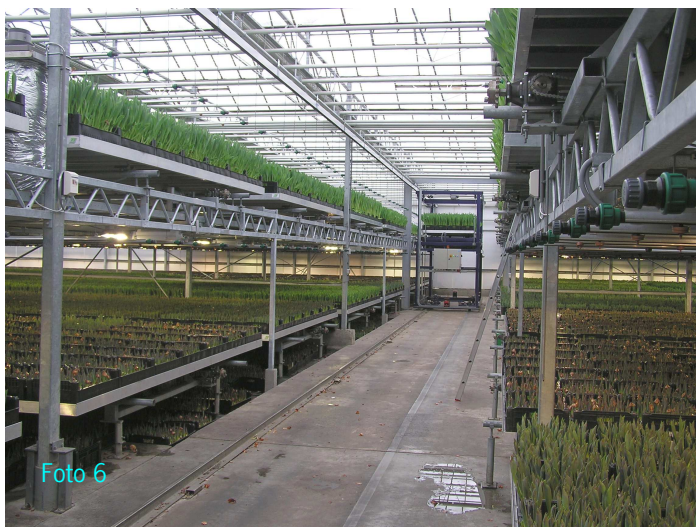
Uit de energie- en productiecijfers van de bedrijven is de energie-efficiëntie berekend en vergeleken met de gangbare éénlaagsbroei.

Op één bedrijf is een open middag georganiseerd om het meerlagensysteem te demonstreren. Hierbij werden aan de hand van posters ook de resultaten van recent belichtingsonderzoek en de principes van mechanisch ontvochtigen van kaslucht toegelicht.

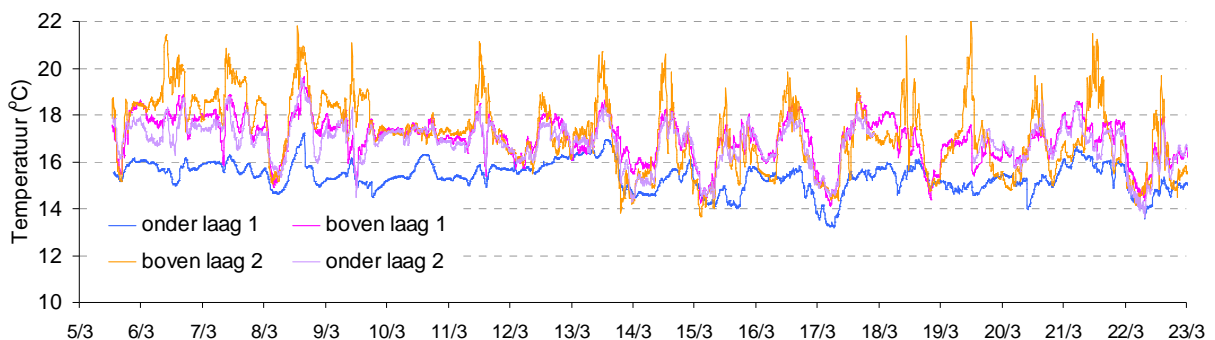
3 Resultaten

3.1 Luchtvochtigheid en temperatuur

Op 3 bedrijven zijn met een 15-tal sensoren elk kwartier de temperatuur en de RV op verschillende hoogtes in de kas gelogd. Bedrijf 1 broeit op stilstaand water in een 2-laagssysteem waarbij ook de 2^{de} laag gesloten is, zie foto 6. De afstand tussen de 2 lagen is ongeveer 130 cm.



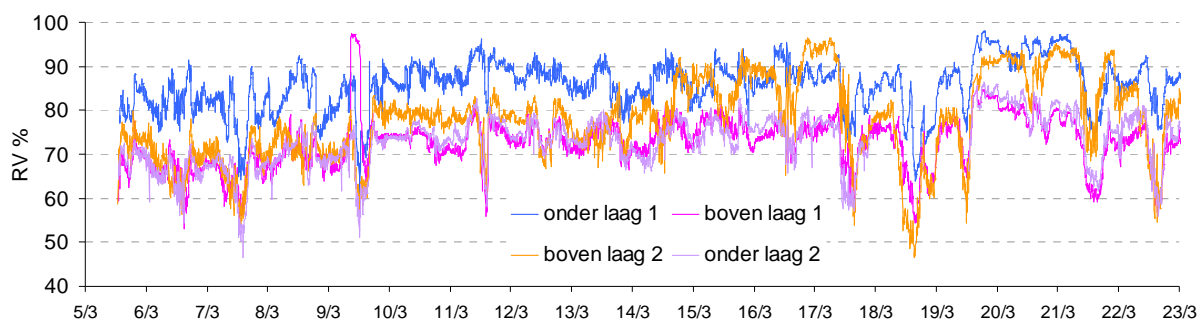
De kas wordt verwarmd met buizen boven laag 2. Met ventilatoren wordt lucht boven laag 2 weggezogen en door slurven boven laag 1 verdeeld. Dit bedrijf experimenteerde, met succes, met nog een extra teeltlaag onder de 1^{ste} laag, foto 6. Op 3 plaatsen is onder de 1^{ste} teeltlaag, net boven de tulpen op de 1^{ste} teeltlaag, onder de 2^{de} laag, net boven de tulpen op de 2^{de} laag en net boven het energiescherm gemeten. Ook zijn er 8 sensoren tussen de wortels in de trays geplaatst om de watertemperatuur te meten en is er een temperatuur- en RV-sensor in de buitenlucht geplaatst. Enkele gemiddelden zijn samengevat in figuur 4 (temperatuur) en figuur 5 (RV).



Figuur 4: Temperatuurverloop

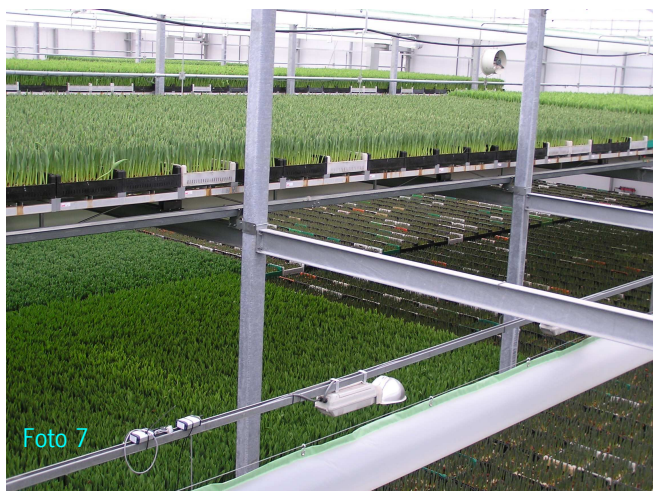
In figuur 4 is goed te zien dat de temperatuur onder laag 1 zo'n 1,5 – 2 graden lager ligt dan net boven de

tulpen op laag 1. Daar is de temperatuur vrijwel gelijk aan ongeveer 30 cm onder laag 2. Net boven de tulpen op laag 2 is de temperatuur overdag iets hoger dan op laag 1 en dat kan tussen 12:00 – 14:00 uur oplopen tot een graad of 2. Het verloop van de luchtvochtigheid is precies omgekeerd en figuur 5 laat zien dat net boven de tulpen op laag 1 de luchtvochtigheid meestal onder de 80% blijft. Net boven de tulpen op laag 2 is de RV echter hoger en komt vooral s'navonds soms boven de 90%. Onder laag 1 komt de RV regelmatig boven de 90%, maar door de lagere temperatuur leidt dit niet tot kiepers e.d..



Figuur 5: Verloop Relatieve Luchtvochtigheid

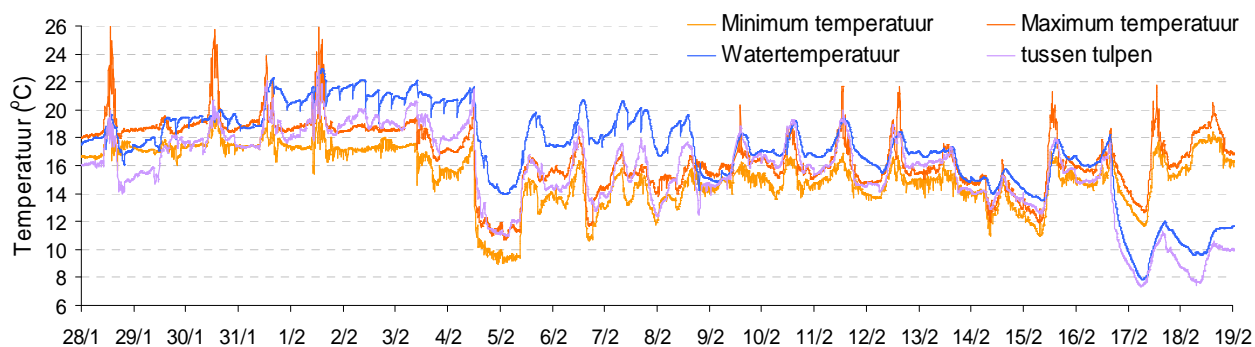
Bedrijf 2 broeit op een eb/vloed-meerlagensysteem waarbij de bovenste laag een bedekkingsgraad heeft gelijk aan de 55% van de onderste laag. Tussen de containers in de bovenlaag is een open ruimte gelijk aan



een baan containers, zie foto 7. De afstand tussen de twee lagen is ongeveer 200 cm. De kas wordt verwarmd door vloerverwarming en door luchtbehandelingskasten die via slurven warme lucht tussen de 2 lagen brengen. Op twee plaatsen is op verschillende hoogtes de temperatuur en de luchtvochtigheid gemeten: net boven de tulpen op laag 1, onder laag 2, net boven de tulpen op laag 2 en onder het energiescherm. Daarnaast in de baan waar geen 2^{de} laag boven is boven de tulpen op laag 1 en op 2 hoogten tot aan het scherm. In één container zijn twee sensoren tussen de tulpen geplaatst om licht te meten ($\mu\text{mol/s/m}^2$), 8 sensoren om de watertemperatuur te meten, en twee

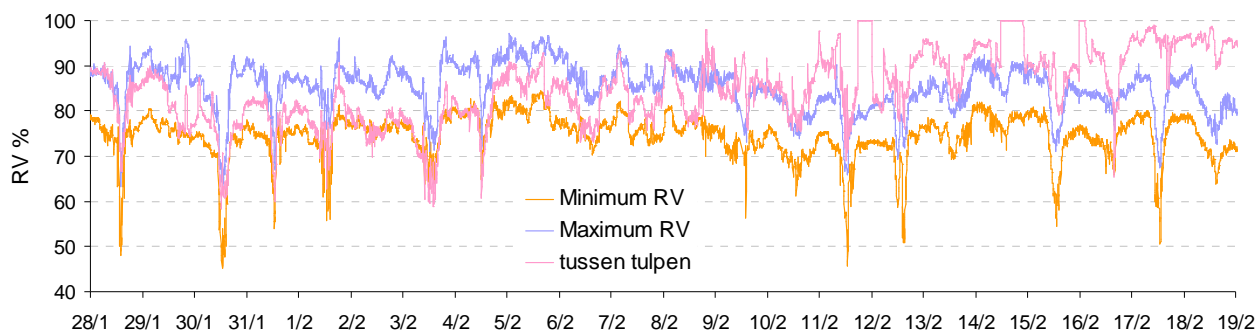
sensoren om luchtvochtigheid en temperatuur tussen de tulpen te meten. Op deze manier zou een container vanaf het inhalen tot en met oogst gevolgd kunnen worden. De lichtmeters waren echter niet voldoende spatwaterbestendig en stopten na 3 dagen met het doorgeven van data. Tijdens de meetperiode had het bedrijf last van zweters & kiepers wat leidde tot veel uitval. Daarom zijn extra ventilatoren geplaatst en is op de traditionele wijze ontvochtigd door met de ramen open extra te verwarmen. De 14 meetpunten in de kas vertoonden daarom zeer variabele waarden, reden waarom alleen de maximum en de minimum temperatuur in figuur 6 zijn samengevat. In die figuur is ook de gemiddelde watertemperatuur van de container uitgezet. In figuur 7 zijn de minimum en maximum RV in de kas en tussen de tulpen op een container samengevat.

Figuur 6 laat zien dat aanvankelijk het verschil tussen de maximum en de minimum temperatuur in de kas ongeveer 2 graden is maar na 7 februari wordt het verschil kleiner. De kastemperatuur is na 5 februari gemiddeld ongeveer 2 – 3 graden lager. De gemiddelde watertemperatuur van de 8 bakken in de container



Figuur 6: Minimum en maximum temperatuur.

is tot 9 februari 2 tot 4 graden hoger dan de maximum temperatuur van de kaslucht. Ook de temperatuur tussen de tulpen in de container is iets boven de maximum temperatuur van de kaslucht. Achtergrond hierbij is dat de container zich nog in de onderste laag bevindt en door de vloerverwarming een hoge temperatuur krijgt. Na 9 februari bevindt de container zich in de bovenlaag en neemt de watertemperatuur ongeveer dezelfde temperatuur aan als de kaslucht en is ook de temperatuur tussen de tulpen ongeveer gelijk aan de kastemperatuur. Aan de watertemperatuur is ook te zien dat de tulpen om de 6 uur water krijgen, waardoor de temperatuur iets zakt. Na 17 februari komt de container in de plukhal waar de temperatuur enkele graden lager is.



Figuur 7: Minimum en maximum RV.

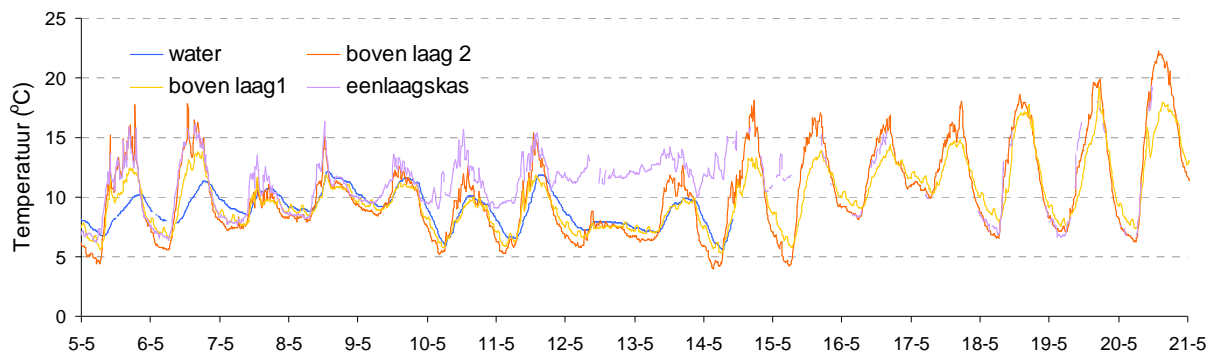
De maximale RV is regelmatig boven de 90%. Zolang de container op de onderste laag zich in de onderste laag bevindt is de RV tussen de tulpen tussen de minimum en maximum RV van de kaslucht. In de bovenlaag (na 9 februari) is de RV tussen de tulpen boven de maximum RV van de kaslucht. Mogelijk dat het irrigatiesysteem de sensoren ook af en toe heeft geraakt. Ook is het zo dat de tulpen inmiddels forse bladeren hebben en de sensoren bedekken.

De RV blijft regelmatig te hoog en gecombineerd met hoge temperaturen, dus snelle groei, heeft dit geleid tot uitval door zweters & kiepers. Een goede oplossing hiervoor is het mechanisch ontvochtigen: aanzuigen van koude buitenlucht van bijvoorbeeld 0 °C heeft bij een RV van 100% een absoluut vochtgehalte van 3,4 ml/m³ lucht. Wanneer deze lucht wordt opgewarmd tot bv. 17 °C neemt de RV af tot 24%. Hiermee kan de kaslucht worden ontvochtigd door de lucht via de slurven in de kas te brengen. De ramen hoeven hiervoor niet open, door overdruk verdwijnt de lucht vanzelf via kieren en spleten. Dit leidt tot een veel regelmatigere kasklimaat dan het traditionele stoken met het raam open en bespaart energie.

Voor bedrijf 2 is berekend wat de capaciteit van een dergelijk ontvochtigingssysteem moet zijn, zie bijlage 1, en dit is inmiddels geïntegreerd in de luchtbehandelingskasten. Daarnaast heeft het bedrijf o.m. de afvoergoten van de containers aangepast en worden de bakken permanent op lekkage gecontroleerd en zo nodig verwijderd zodat er geen water meer op de warme vloer kan spatten.

Bedrijf 3 broeit op stilstaand water in een kasdeel met twee gesloten lagen, op ongeveer 130 cm afstand,

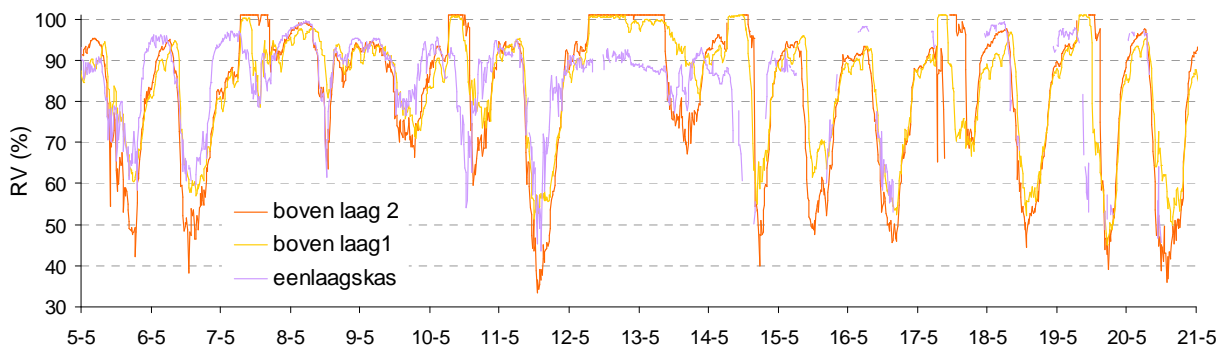
en een kasdeel met maar één laag. In beide kasdelen zijn temperatuur en RV gemeten op verschillende plaatsen. In het tweelagendeel op vier verschillende hoogtes: net boven de tulpen op laag 1, onder laag 2, net boven de tulpen op laag 2 en onder het scherm. Ook de watertemperatuur is gemeten in 8 bakken. De gemiddelden zijn samengevat in figuur 8.



Figuur 8: temperatuurverloop

De kastemperatuur is hier fors lager dan bij bedrijven 1 en 2, om te snelle groei in deze late trekperiode te voorkomen. De verschillen tussen lagen zijn klein. De watertemperatuur is gemiddeld even hoog als de temperatuur van de kaslucht, maar loopt overdag minder hoog op en koelt s' nachts minder snel af. Net als bij bedrijf 1 wordt de kas hier met buizen boven laag 2 verwarmd. Aanvankelijk loopt de temperatuur in het éénlaagsdeel gelijk op met de temperaturen in het tweelaagsdeel, maar tussen 11 mei en 15 mei ligt daar de temperatuur flink hoger.

De luchtvochtigheid komt in beide kasdelen alleen s' nachts boven de 90%, figuur 9, en door de lage temperaturen treden hier geen problemen op met zweters & kiepers.



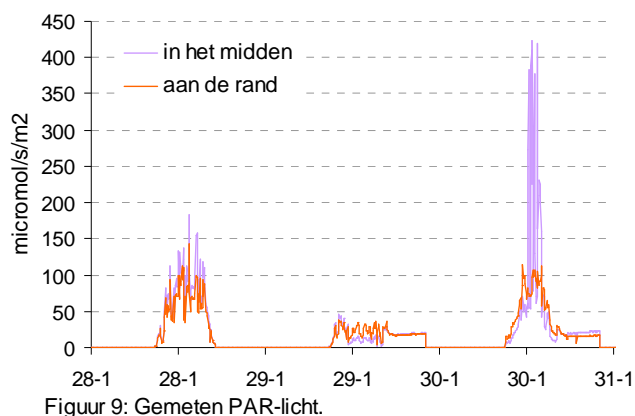
Figuur 9: Verloop van de RV.

3.2 (LED)Licht

De belichting van de onderste laag wordt op deze bedrijven gerealiseerd met per 10 m² (bedrijf 1) of per 15 m² (bedrijf 2 en 3) een 400 watt kwiklamp, 1,20 meter of hoger boven de onderste laag. Door meer of

minder uren per dag te belichten kan de lichthoeveelheid worden aangepast. Op bedrijf 1 wordt 8 tot 12 uur per dag belicht, op bedrijf 2 alleen in januari 3 uur per dag (door de open tussenbanen komt voldoende licht) en op bedrijf 3 wordt 6 uur per dag belicht. Afgezien van de nu opgeloste problemen met zweters & kiepers, worden met op de bedrijven toegepaste lichtregimes kwalitatief goede tulpen afgebroeid.

Op bedrijf 2 is met PAR-meters op een container die de ronde door de kas startte in een baan zonder



Figuur 9: Gemeten PAR-licht.

bovenlaag in het midden en aan de rand het PAR-licht gemeten, figuur 9. De lichtmeters waren echter niet voldoende spatwaterbestendig en stopten na 3 dagen met het doorgeven van data.

Op bedrijf 4 is in de bewortelingscel het effect van rood en van blauw licht getest, foto 7. Bij het inhalen was er duidelijk een verschil in kleur, maar door de lage temperatuur dus groeisnelheid was er van een betere spreiding bij rood licht, of van een langere spruit bij blauw licht niets te zien en bij de oogst waren de tulpen niet meer van niet-belichte tulpen te onderscheiden.



3.3 Energie-Efficiëntie

Van bedrijf 1 zijn energiecijfers beschikbaar van de periode dat er nog op één laag werd gebroeid en van twee broeiseizoenen waarin, in dezelfde kas, met twee lagen is gebroeid. De broeiproduktie is door de tweelagenbroei gestegen van 4,5 naar 9 miljoen stelen. Het energieverbruik per bos (10 stelen) is samengevat in tabel 1.

Tabel 1: Energieverbruik per bos tulpen (excl. koeling/preparatie).

week 49 t/m 16	eenlaagsbroei (4,5 miljoen stelen)			tweelaagsbroei (9 mln)	
	2004/5	2005/6	2006/7	2007/8	2008/9
gas (MJ)	2748395	2961560	2589497	2764186	2843495
elektra (MJ)				696960	696960
totaal (MJ)	2748395	2961560	2589497	3461146	3540455
MJ/bos van 10 gemiddeld	6,11	6,58	5,75	3,85	3,93
<hr/>					
bespaard (8 uur per dag belichten)					37%
bespaard (12 uur per dag belichten) (1 lamp 400 watt/10 m2)					30%

Het energieverbruik per bos is door meerlagenteelt met 30 - 37 % afgenomen, afhankelijk van hoe lang er belicht wordt. Energie en productiecijfers van 2009/2010, waarin voor een deel ook onder laag 1 gebroeid werd, zijn nog niet beschikbaar.

In de berekening van het energieverbruik per bos is bij bedrijf 1 uitsluitend het gasverbruik voor de verwarming van de kas en het elektraverbruik voor de belichting meegenomen. Op bedrijf 2 wordt uitsluitend elektra verbruikt. Het bedrijf gebruikt geen gas maar groene stroom, waarmee warmtepompen water van grondwatertemperatuur afkoelen en met de hierbij vrijgekomen warmte s'winters de kas verwarmen. In de zomer wordt met het door de kas opgewarmde water deze weer teruggebracht en via warmtewisselaars (zg. energiepalen) in de bodem opgeslagen.

Het elektraverbruik is vanaf 5 oktober vrijwel wekelijks bijgehouden. In de periode december 2009 t/m mei 2010 zijn 18.000.000 tulpen afgebroeid. Dit was ruim onder de maximale broeicapaciteit van ongeveer 30.000.000 stelen. Achtergrond hierbij is dat in dit eerste broeiseizoen het geheel nieuwe energiesysteem nog in de testfase was en dat tegen de nodige zg. kinderziektes werd aangelopen zoals bv. het moeizaam regelen van de RV.

In de broeiperiode van december t/m juni wordt energie verbruikt voor kasverwarming en verlichting (dit laatste op bedrijf 2 niet veel: 3 uur/dag in januari) en voor de koeling/preparatie van de aangekochte bollen, voor de koeling van de bewortelingscel en voor elektrische machines (transportsysteem, waterzuivering, eb/vloed systeem, etc.). Daar alleen het totale energieverbruik bekend is wordt het deel verbruikt voor koeling/preparatie, koeling bewortelingscel en voor elektrische machines geschat uit gegevens van de Energiemonitor MJA-e 1^{ste} ronde. Deze meestal grotere en energiebewuste bedrijven verbruikten per 1000 stuks tulpenbollen 26 kWh voor verwerking na de oogst, ventilatie en circulatie tijdens de warme bewaring, koeling/preparatie, koeling bewortelingscel en elektrische machines. Voor verwerking na de oogst *plus* ventilatie en circulatie tijdens de warme bewaring wordt gemiddeld 6,5 kWh per 1000 bollen verbruikt (gegevens project State-of-the-Art 2009). Deze energieposten verrekenend kan het energieverbruik op bedrijf 2 voor koeling/preparatie etc. in totaal op 351.000 kWh worden geschat. Het totale energieverbruik is 1.136.880 kWh, waarmee het energieverbruik voor verwarming en belichting geschat kan worden op 785.880 kWh. Dit omgerekend naar MJoules komt uit op 3,93 MJ/bos, tabel 2.

Wanneer het bedrijf op volle capaciteit broeit is de schatting 2,38 MJ/bos. Hierin is gerekend in primaire energie: voor de productie van 1 kWh wordt in de energiecentrale 9 MJ aan gas verstoekt, waarvan 60% aan warmte verloren gaat. Het bedrijf verbruikt echter alleen groene stroom, zodat de werkelijk verbruikte energie 3,6 MJ/kWh is. Het energieverbruik per bos is dan nog veel lager: 1,57 MJ/bos, tabel 2. In de tabel is ter vergelijking ook het energieverbruik bij de broei in één laag op bedrijf 1 opgenomen, en het gemiddelde energieverbruik uit de MJA-e gegevens. Het energieverbruik op bedrijf 2 is in alle gevallen aanzienlijk lager.

Tabel 2: Schatting energieverbruik per bos, december t/m mei, bedrijf 2.

	eenheid		MJ/bos	
			Centrale	Groen
afgebroeid	n	18.000.000		
maximale broei	n	30.000.000		
totaal energieverbruik	kWh	1.136.880		
per 1000 stks monitoring MJA-e	kWh	19,5		
totaal elektra koeling/prep etc.	kWh	351.000		
elektra verlichting kas	kWh	10.000		
geschatte energie voor verwarming	kWh	775.880	3,88	1,55
totaal kas	kWh	785.880		
Energieverbruik/bos (kasverwarming + licht)	MJ		3,93	1,57
idem bij maximale broei	MJ		2,38	0,95
bij éénlaags bedrijf 1	MJ		6,15	
E-monitor MJA-e gas	MJ		6,33	

Het energieverbruik op bedrijf 3 is direct berekend uit het door de broeier geschatte gasverbruik in de periode december t/m mei en het elektraverbruik voor 6 uur per nacht verlichting van de onderste laag met per 15 m² één lamp van 400 watt, tabel 3. In deze periode zijn 28.000.000 stelen gebroeid. In totaal worden er, jaarrond, 35.000.000 stelen afgebroeid.

Tabel 3: Energieverbruik per bos, bedrijf 3.

	eenheid	
afgebroeid	n	28.000.000
gasverbruik	MJ	4.220.400
elektra voor verlichting*	MJ	854.784
totaal	MJ	5.075.184
Energieverbruik per bos	MJ	1,81

* om het uur, alleen s'nachts

Het energieverbruik per bos is hier bijzonder laag. Behalve door het energie-efficiënter broeien door meerlagenteelt (kasbenutting is 150%) wordt er per oppervlakte kas erg weinig gas verbruikt omdat de kas op een lage temperatuur wordt gehouden (21 m³ gas/m², tegen 40 m³ gas/m² op bedrijf 1).

Vergeleken met normale broei in een kas met één laag wordt er op deze drie bedrijven fors minder energie verbruikt. De besparingen zijn minstens ongeveer 40%, of meer.

4 Conclusies en Aanbevelingen

Conclusies:

De 3 bedrijven die in dit project in meerlagen broeien hebben elk een ander systeem van ruimte benutting. Bedrijf 1 heeft een 2^{de} gesloten laag, bedrijf 2 heeft een 2^{de} laag met een oppervlak van 55% van de onderste laag *plus* een kleiner kasdeel met een bijna gesloten bovenste laag. Bedrijf 3 heeft een kasdeel met een 2^{de} gesloten laag en een even groot kasdeel met een enkele laag. De belichtingsregimes zijn hier op aangepast: bedrijf 1 belicht de onderste laag 8 tot 12 uur (immers, de helft van de groeiperiode is op de onderste laag), bedrijf 2 belicht slechts 3 uur per dag en dat alleen in januari (door de "lichtdoorlatendheid" van de bovenlaag, en de grote afstand tussen laag 1 en 2, krijgt het deel van de onderste laag dat een containerbaan erboven heeft toch voldoende licht). Op bedrijf 3 verblijft een container in principe maar een 3^{de} deel van de groeiperiode in de onderste laag in het dubbellaags kasdeel en wordt daar maar 6 uur per dag belicht.

Bedrijf 1 is de grens aan het opzoeken door (nu ongeveer 5 dagen) onder de 1^{ste} laag het eerste deel van de groeiperiode helemaal niet te belichten. Onderzoek van PPO geeft aan dat de duur van die fase tot een 3^{de} deel van de groeiperiode kan worden uitgebreid.

Toepassing van rode of blauwe LED's in de bewortelingsfase heeft geen voordeel opgeleverd. Achtergrond hierbij is dat in die fase door de lage temperatuur (9 °C) de groeisnelheid onvoldoende is.

Bedrijven 1 en 3, met meerdere jaren ervaring met meerlagen broei, hebben geen problemen met zweters & kiepers. Het kasklimaat, in termen van temperatuur en RV, wordt door de inzet van ventilatoren en slurven, voldoende gecontroleerd om te voorkomen dat de tulpen hier last van hebben. Bedrijf 2 heeft hier wel uitval door opgelopen, maar dat heeft vooral te maken met de opstartfase van het geheel nieuwe energiesysteem. Een effectieve oplossing is hiervoor ontworpen en geïmplementeerd en dit zal het in het broeiseizoen 2010/2011 worden gemonitord.

Het energieverbruik per bos tulpen is in vergelijking met broei in een enkele laag op bedrijf 1 met 30 – 40% gedaald. Op bedrijf 3 is het energieverbruik per bos nog lager, omdat op dat bedrijf een lagere kastemperatuur wordt aangehouden. Ondanks de opstartproblemen op bedrijf 2 is ook daar, in vergelijking met het gemiddelde energieverbruik van de grotere en energiebewuste deelnemers aan de MJA-e, een fors lager (38 %) energieverbruik per bos gerealiseerd. Doordat dit bedrijf uitsluitend groene stroom verbruikt is het werkelijke energieverbruik in MJ/bos feitelijk nog veel lager (niet 9 maar 3,6 MJ/kWh). Indien op volle capaciteit wordt gebroeid (30.000.000 ipv. 18.000.000 stelen) is het energieverbruik per bos slechts 15% van het MJA-e gemiddelde van 6,33 MJ/bos: een besparing van 85 %!

Samenvattende conclusies:

- Het energieverbruik bij meerlagenbroei is minstens 40% lager
- Het kasklimaat kan voldoende gecontroleerd worden om zweters & kiepers te voorkomen
- De mogelijkheden van LED verlichting worden nog niet voldoende benut
- Er bestaat een grote variatie in het realiseren van meerlagenteelt

Aanbevelingen:

Het broeien in meerlagen wordt momenteel door veel broeiers overwogen als optie om de productie uit te breiden. Vragen die daarbij spelen zijn o.a.: voor hoeveel lagen kiezen we, wat zijn de belichtingsregimes per laag, hoe pakt dat uit voor het kasklimaat en uiteraard wat zijn dan de investeringskosten, wat zijn de risico's en wat zijn de baten.

Voor het 2^{de} jaar van het project 'Meerlagenteelt in de praktijk' is het daarom aanbevolen om meer broeiers bij dit project te betrekken die ofwel net tot dit systeem zijn overgegaan, ofwel dit in 2011 willen gaan doen.

Er zijn veel goede varianten van het MLT- systeem denkbaar en meer deelnemers aan dit project geef meer mogelijkheid tot vergelijking en dus meer informatie voor de sector.

Vooraf op het gebied van de mogelijke voordelen van LED-belichting met verschillende kleuren is nog veel onderzoek wenselijk, maar dit wat fundamenteeler onderzoek kan het best op een onderzoeksstation uitgevoerd worden. Resultaten van eerder onderzoek hieraan kunnen echter nu al in de praktijk worden getest. Net als de resultaten van het onderzoek naar de minimum lichtbehoefte vooral in het begin van de groeiperiode.

Het monitoren van het kasklimaat (licht, temperatuur en RV), en van het energieverbruik, blijft van belang om verschillende systemen van meerlagenteelt te vergelijken.

Samenvattende aanbevelingen voor het 2^{de} jaar van dit project:

- Het aantal deelnemende bedrijven uitbreiden (naar mogelijk 8)
- Testen van alternatieve lichtregimes (zo laat mogelijk met belichten beginnen, pulsbelichting van 1 min/half uur, etc.) en belichting met verschillende kleuren (LED-belichting)
- Monitoren kasklimaat (temperatuur, RV, en PAR-licht)
- Monitoren energieverbruik
- Op basis van de resultaten doorrekenen van alternatieve ontwerpen van meerlagenteeltsystemen

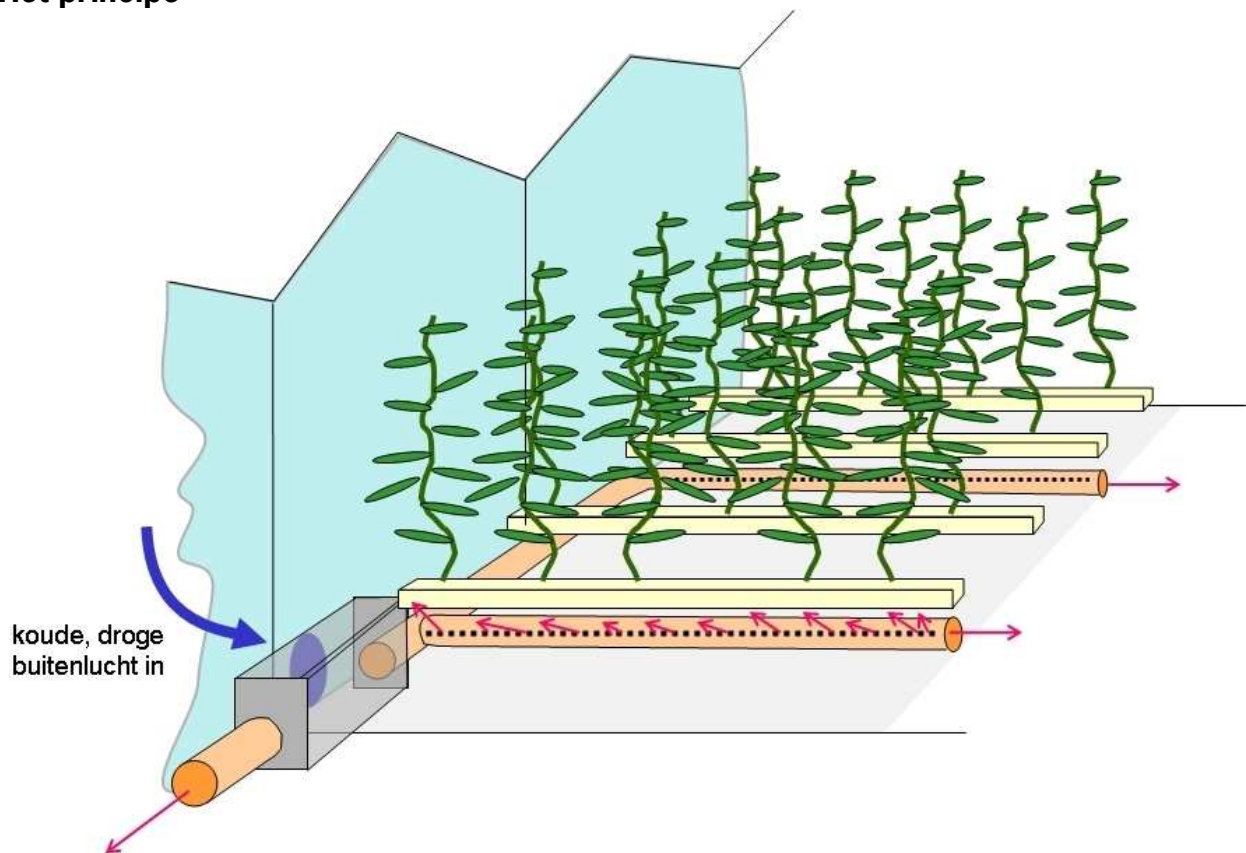
5 Communicatie

Op bedrijf 2 is op 25 juni 2010 is een open dag georganiseerd. Lichtbehoefte en kasklimaat zijn d.m.v. posters toegelicht, zie bijlage 2. De bezoekers, ongeveer 100 personen, kregen van bedrijfseigenaren een rondleiding door de kas. Binnen een week na de opendag zijn in de Vakbladen "De Bloemisterij" en "Nieuwe Oogst" en in het Agrarisch Dagblad artikelen verschenen over de open dag Meerlagenteelt.

Bijlage 1: Mechanische vochtafvoer met buitenlucht

J.C. Campen (WUR Glastuinbouw)

Het principe



Principe schets van het systeem

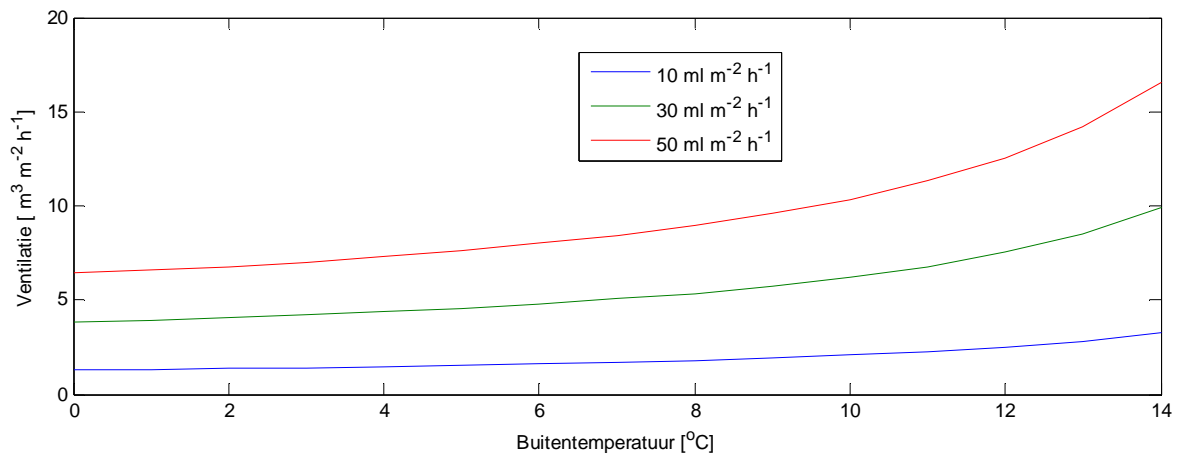
Buitenlucht bevat altijd minder vocht dan kaslucht, ook op het moment dat het regent of mist. De absolute luchtvochtigheid is kleiner voor buitenlucht waardoor luchtuitwisseling met kaslucht altijd zorgt voor een netto vochtafvoer. Traditioneel gebeurt de vochtafvoer door ventilatie met de ramen. De methode heeft echter twee nadelen: (1) de controleerbaarheid is niet goed aangezien de hoeveelheid lucht die wordt uitgewisseld niet precies te regelen is. Daarnaast (2) is de verdeling van de buitenlucht die binnenkomt niet gelijk qua temperatuur en vocht. Hierdoor ontstaat een ongelijkmatig kasklimaat.

Met gecontroleerde vochtafvoer waarbij buitenlucht middels een ventilator en luchtslangen in de kas wordt gedistribueerd worden deze nadelen weggenomen. De vochtige kaslucht verlaat de kas door de kieren in de kas die er meestal voldoende aanwezig zijn. Bij voorkeur wordt de buitenlucht voorverwarmd zodat lokale klimaatverschillen worden vermeden.

De hoeveel lucht die wordt ingeblazen is afhankelijk van de hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd en het absoluut vochtverschil tussen buiten en binnen.

$$\text{Ventilatie} \quad [m^3 / s] = \frac{\text{Verdamping} \quad [l / s]}{AV_{kas} - AV_{buiten} \quad [l / m^3]}$$

De hoeveelheid vocht die moet worden afgevoerd hangt af van de verdamping van het gewas en de verdamping van vrij water in de kas.

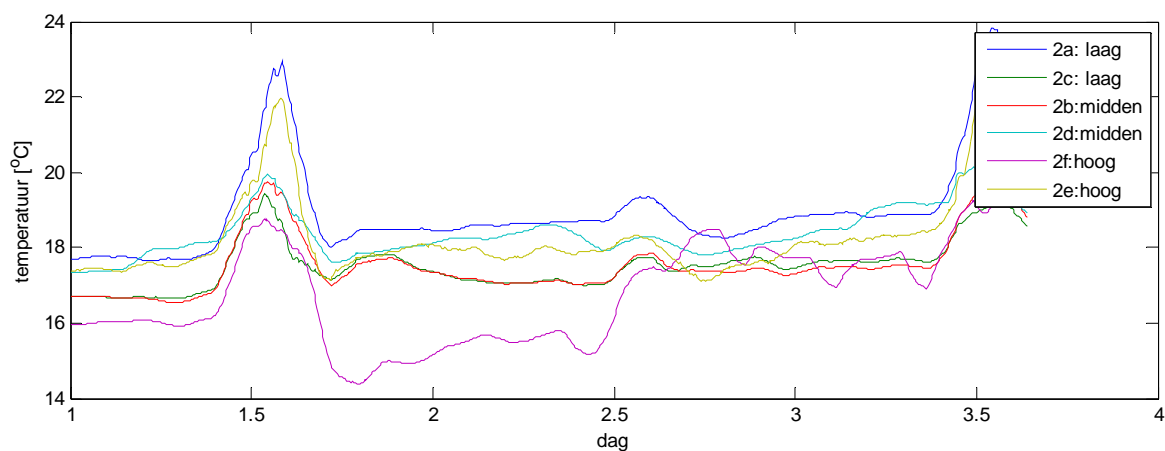


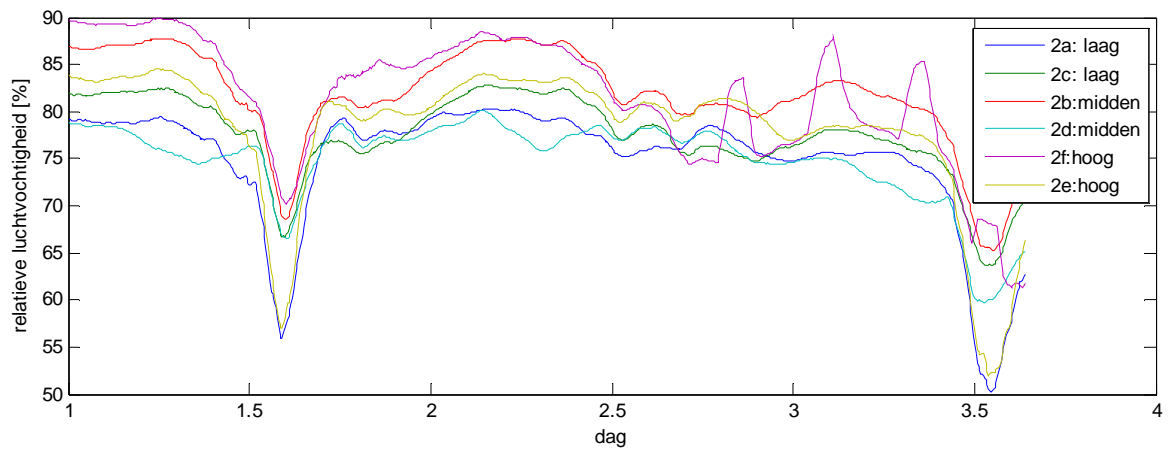
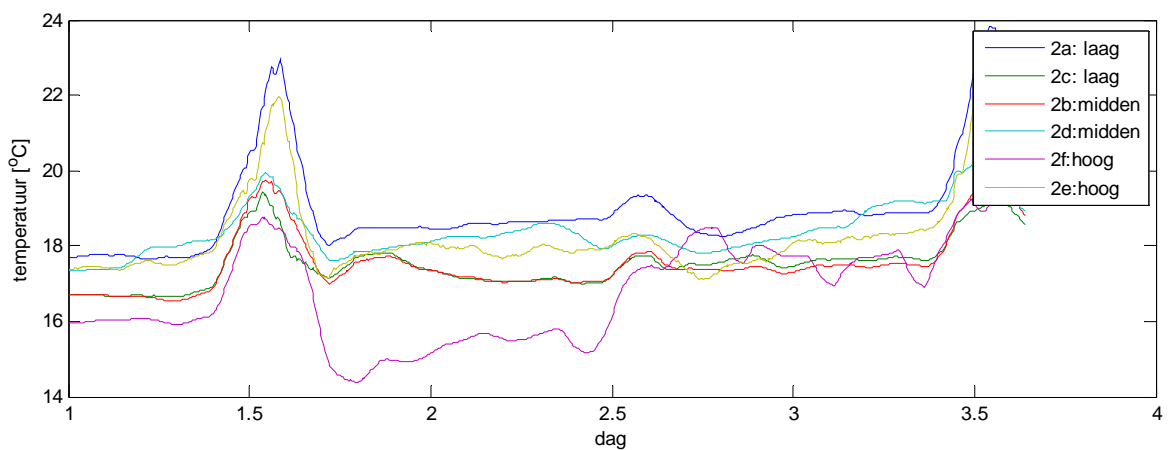
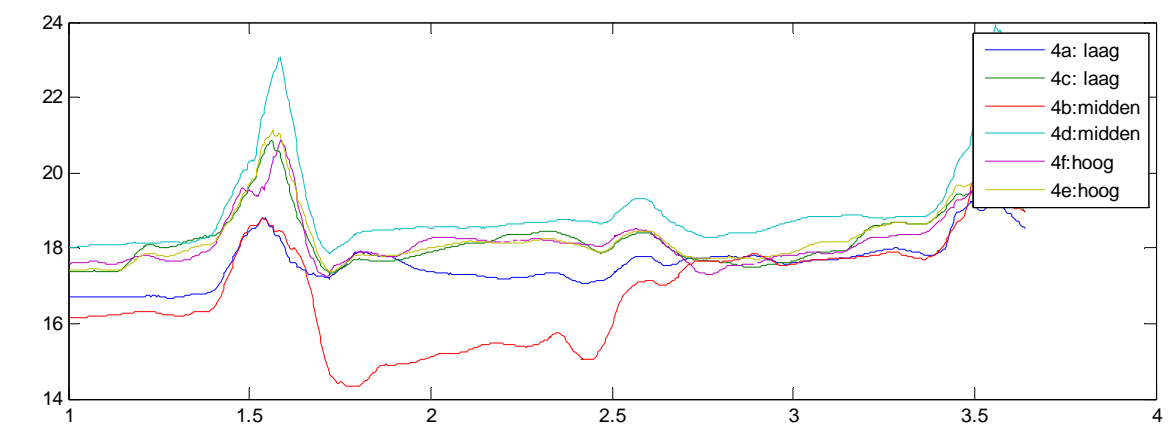
Benodigde hoeveelheid ventilatie als functie van de buitemtemperatuur bij verschillende hoeveelheden verdamping waarbij de kasttemperatuur 17°C is bij 80% RV

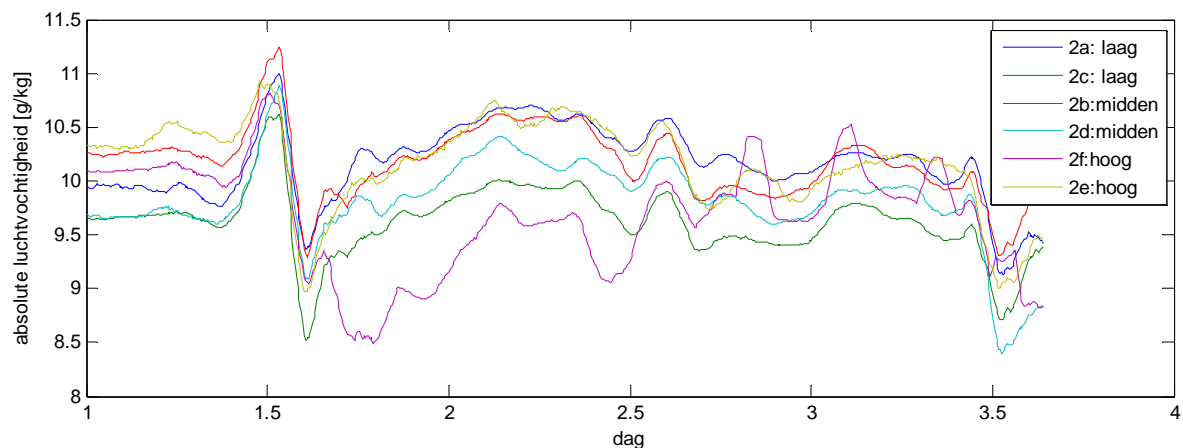
De hoeveelheid verdamping die in de figuur is weergegeven komt overeen met verdampingshoeveelheden die horen bij geen of een lage instraling waarbij de ramen gesloten blijven. Op het moment dat de instraling hoger wordt, en daarmee de verdamping, zullen de ramen worden geopend op basis van temperatuur en de luchtvochtigheid wordt daarmee ook laag genoeg.

Toepassing van het systeem op bedrijf 2

Op bedrijf 2 hangen reeds luchtbehandelingskasten (LBK's) met slangen voor de koeling en verwarming. Deze LBK's kunnen worden gebruikt om de buitenlucht te verdelen en op te warmen. Er is in dit geval alleen een extra ventilator nodig die de buitenlucht naar de LBK blaast. Deze ventilator wordt geregeld op basis van de relatieve luchtvochtigheid (of vochtdeficit) die gemeten wordt bij de meetbox (of een combinatie van meetboxen in het gebied waar de lucht wordt ingezet). Gebruik maken van de ventilator die reeds in de LBK zit in combinatie met een regelklep is NIET aan te raden omdat dit moeilijk regelbaar is. De hoeveelheid lucht die naar binnen komt wordt dan erg afhankelijk van de wind snelheid en richting buiten bijvoorbeeld. Voor een exacte dimensionering van het systeem is het belangrijk de hoeveelheid verdamping te weten. Deze is mogelijk uit de watergift en drain te verkrijgen. Op basis van deze gegevens en het gewenste klimaat kan de maximale ventilatiebehoefte worden bepaald en kan een jaarrond berekening worden gemaakt waaruit de inzet van de ventilator zichtbaar wordt.

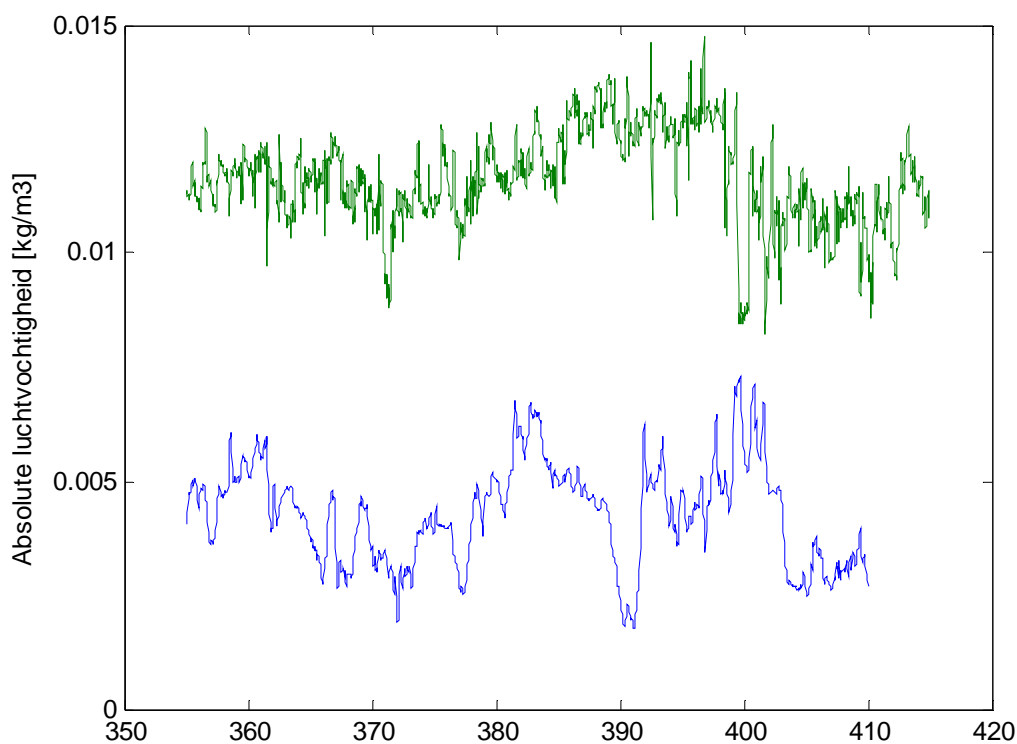






De variatie in absolute luchtvochtigheid is klein. Verschillen in relatieve luchtvochtigheid komen vooral door temperatuurverschillen.

Ruwe berekening



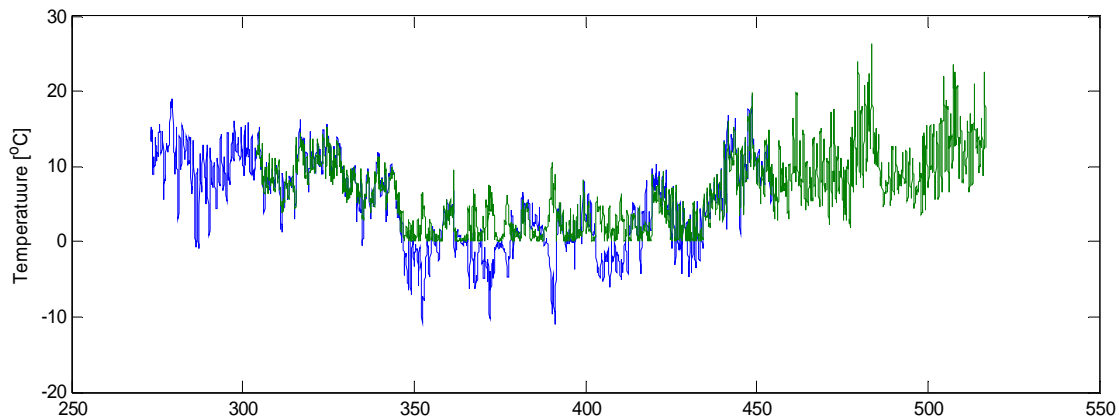
Absolute luchtvochtigheid buiten (blauw) en in de kas (groen) in de periode van half december tot half februari

Bovenstaande figuur laat de absolute luchtvochtigheid van de buitenlucht en de kaslucht zien in de periode van half december tot half februari. Gemiddeld is het vochtverschil tussen kas en buiten ongeveer 6 gr/m³. Op basis van de watergift en de drain hadden we geconcludeerd dat de verdamping maximaal ongeveer 1.5 liter per dag zou zijn. Op basis van deze getallen zou de hoeveelheid buitenlucht die nodig is om deze hoeveelheid vocht af te voeren 10 m³m⁻²uur⁻¹ zijn.

KASPRO berekeningen

Op basis van de klimaatcomputer data is een simulatie in KASPRO uitgevoerd. KASPRO is een dynamisch simulatie model waarmee het klimaat in een kas kan worden berekend. In feite is het een virtuele kas. De buitencondities (temperatuur, relatieve luchtvochtigheid, wind, straling) worden als randvoorwaarde gebruikt. De regeling van het klimaat gebeurt op dezelfde wijze als in een echte kas middels de klimaatcomputer.

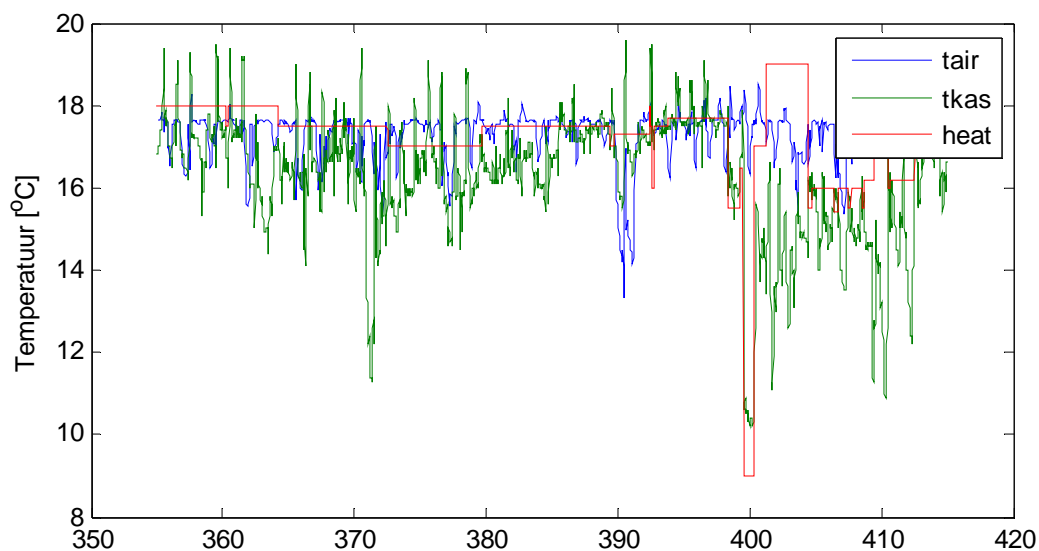
Resultaten



De buitentemperatuur zoals die in het model is gebruikt (blauw) en de data zoals die uit de klimaatcomputer is gehaald (groen)

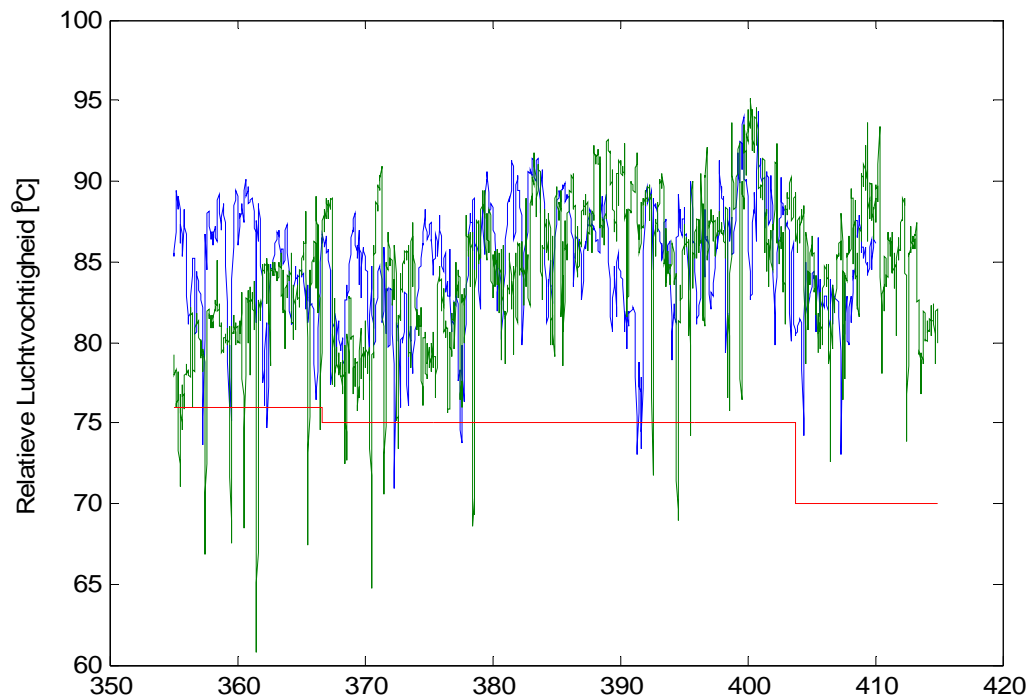
Wat opvalt is dat uit de data van de klimaatcomputer blijkt dat de temperatuur in de wintermaanden niet onder nul is geweest terwijl de klimaatdata van het weerstation in de Bilt dit wel laat zien. Vermoedelijk wordt het min-teken van de klimaatcomputer niet goed meegenomen. Op de dagen dat de temperatuur boven nul is komen de gegevens goed overeen.

Eerst is een simulatie gedaan waarbij het klimaat wordt uitgerekend op basis van de installatie die er nu hangt. De verdamping komt enerzijds van het gewas en anderzijds direct uit de bakken.

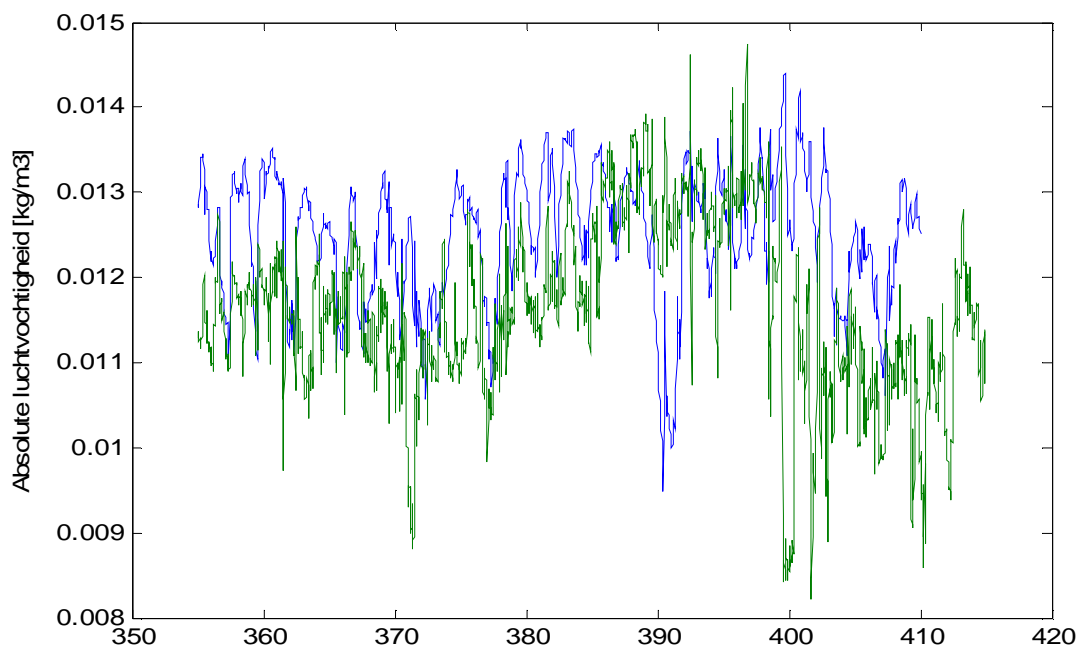


Gerealiseerde temperatuur in de kas (groen) en het setpoint ingesteld op de computer (rood) en de berekende temperatuur met KASPRO (blauw)

Bovenstaande figuur laat de temperatuur zoals gemeten in de kas zien en de temperatuur zoals berekend. De fluctuatie in de temperatuur zoals gemeten in de kas is groter dan berekend. Dit komt vermoedelijk omdat er regelmatig verandering zijn aangebracht in de klimaatcomputer die niet allemaal in het model zijn opgenomen.

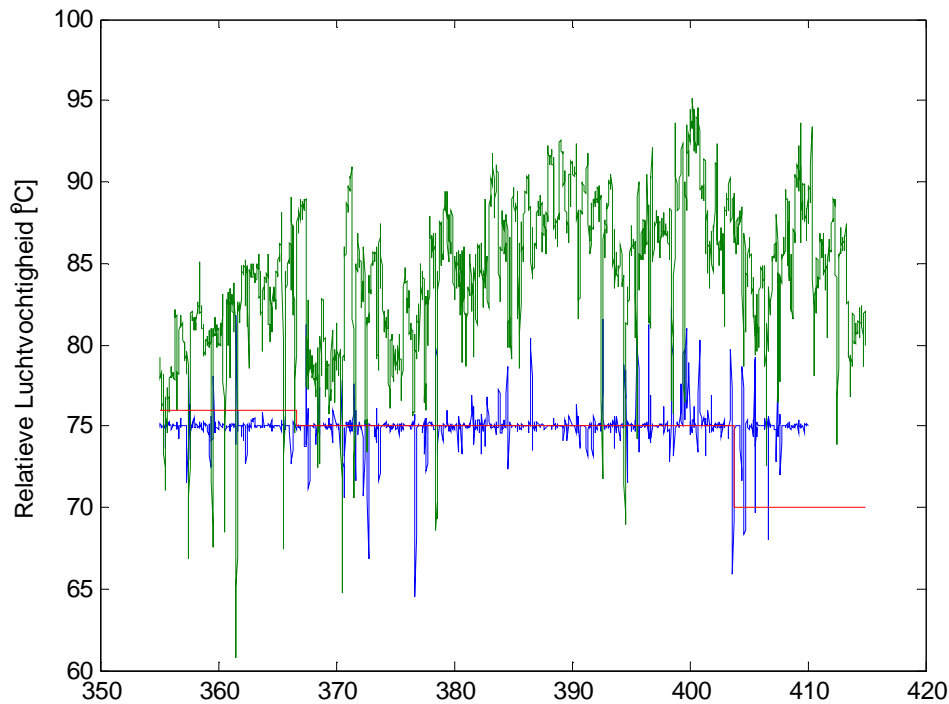


Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid in de kas (groen) en het setpoint ingesteld op de computer (rood) en de berekende relatieve met KASPRO (blauw)

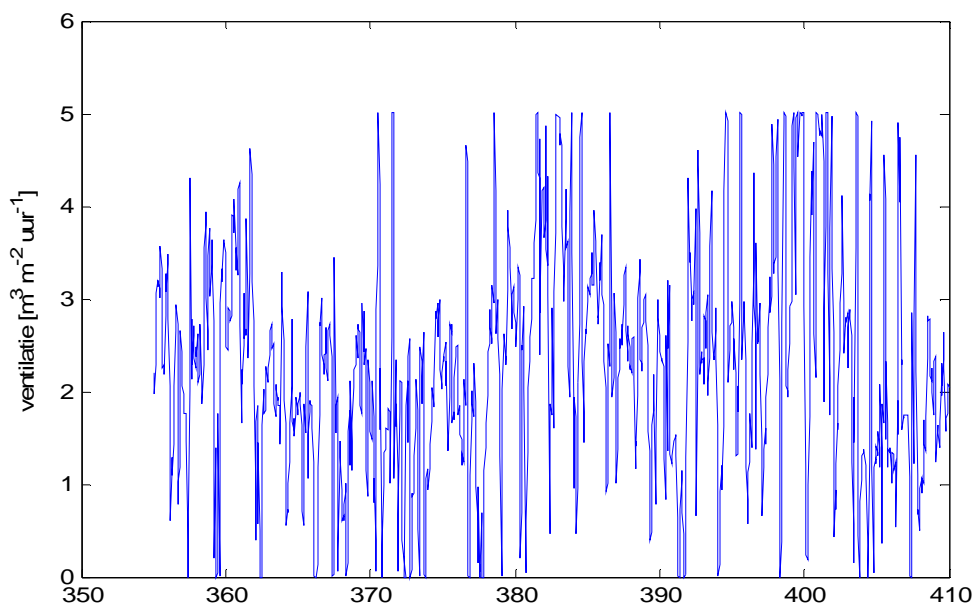


Absolute luchtvochtigheid in de kas zoals gemeten (groen) en in KASPRO gesimuleerd (blauw)

De absolute luchtvochtigheid in de simulatie ligt wat hoger dan in de praktijk. Om er zeker van te zijn dat de capaciteit voldoende van de ontvochtigingsunit zal zijn is van deze situatie uitgegaan. Op basis van bovenstaande figuren kan worden geconcludeerd dat het model redelijk met het gerealiseerde kasklimaat overeenkomt. Vervolgens is de ontvochtiging met buitenlucht toegepast.

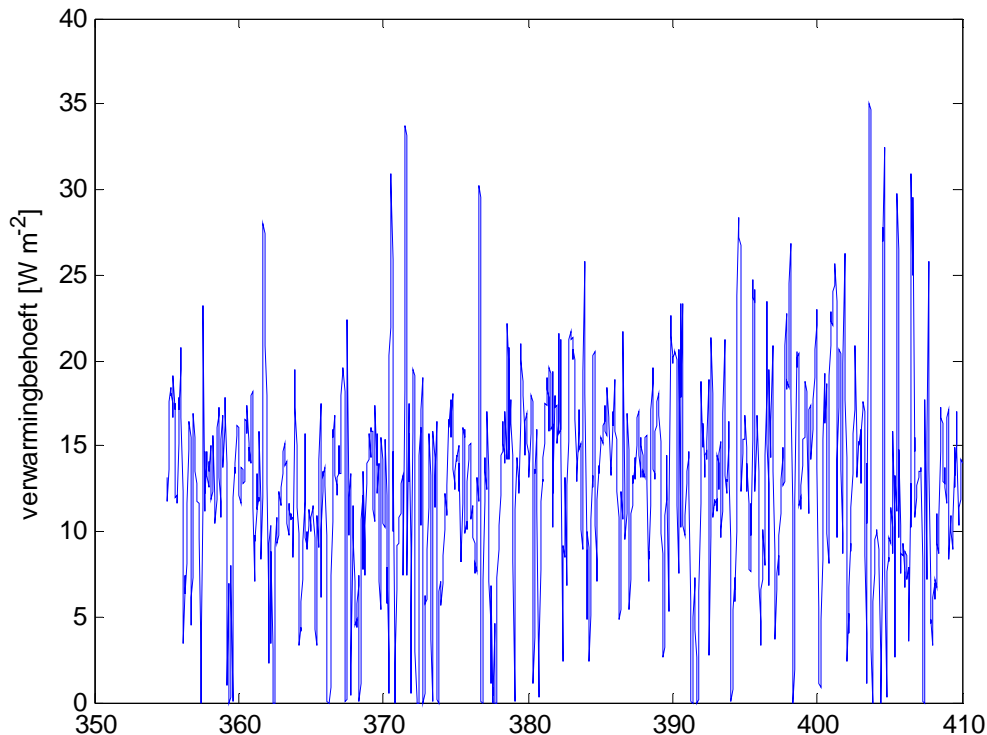


Gerealiseerde relatieve luchtvochtigheid in de kas (groen) en het setpoint ingesteld op de computer (rood) en de berekende relatieve luchtvochtigheid met KASPRO (blauw) waarbij met buitenlucht is ontvochtigd.



Ventilatiebehoefte ten behoeve van de ontvochtiging met buitenlucht

Bovenstaande figuur laat de benodigde ventilatie met buitenlucht zien. Uit deze grafiek blijkt dat een maximale ventilatie van $5 \text{ m}^3\text{m}^{-2}\text{uur}^{-1}$ voldoende is. Dit is dus lager dan uit de ruwe berekening naar voren kwam. De verdamping is vermoedelijk geringer dan in deze berekening is verondersteld. Een frequentiegeregelde ventilator is nodig om een goede regeling te krijgen.



De extra verwarmingsbehoefte die nodig is om de koude buitenlucht op kaslucht temperatuur te brengen is maximaal 35 W/m^2 .

Conclusie

De berekeningen laten zien dat middels de aanzuiging van buitenlucht de luchtvochtigheid in de kas goed geregeld kan worden. De exacte verdamping van het gewas en het vrije water is een onzekere factor in de bepaling van de benodigde capaciteit. Op basis van de ruwe cijfers van watergift en drain zou een ventilatie van $10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ uur nodig zijn. Op basis van de berekeningen van het kasklimaat waarbij de temperatuur en de luchtvochtigheid in overeenstemming zijn gebracht met de gemeten waarden, zou $5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ uur voldoende zijn. Een installatie met een maximum capaciteit van $8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ uur die frequentiegeregeld wordt, lijkt voldoende mede omdat het lekken op de grond komende winter minder zal zijn.

Belangrijk is wel dat er rekening wordt gehouden met de extra benodigde warmtecapaciteit van de luchtbehandelingskast. De temperatuurmetingen uit de kas lieten zien dat gedurende koudeperiodes de temperatuur niet gerealiseerd kon worden wat aangeeft dat extra verwarmingscapaciteit nodig is.

Bijlage 2: Posters open dag

